

ユビキタス情報環境におけるサービス品質に基づく 適応型経路制御法

著者	長田 俊明
号	14
学位授与番号	422
URL	http://hdl.handle.net/10097/42607

氏名（本籍地）	おさだ としあき 長田 俊明
学位の種類	博士（情報科学）
学位記番号	情博第422号
学位授与年月日	平成21年 3月25日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
研究科、専攻	東北大学大学院情報科学研究科（博士課程）情報基礎科学専攻
学位論文題目	ユビキタス情報環境におけるサービス品質に基づく適応型経路制御法
論文審査委員	（主査）東北大学教授 白鳥 則郎 東北大学教授 堀口 進 東北大学教授 橋本 和夫 東北大学准教授 北形 元

論文内容の要旨

第1章 序論

遍在する多様な情報通信基盤から成るユビキタス情報環境において、マルチメディア通信サービスの品質を向上させることは、利用者同士のコミュニケーションを促進するために非常に大切である。マルチメディア通信サービスの品質を向上させるためには、利用可能な帯域が変動する情報通信基盤において、正確な帯域予測に基づく適応型の経路制御技術が重要となる。しかしながら、有線ネットワーク上の利用者端末間で構成される仮想ネットワークであるオーバーレイネットワークや、移動無線端末で構成されマルチホップ通信を行う無線アドホックネットワークにおいては、その構造の複雑さにより帯域の予測の精度が低いため、通信品質を向上させることが困難であった。

そこで本研究では、マルチメディア通信サービスの品質を向上させるために重要である経路制御技術に着目し、オーバーレイネットワークおよび無線アドホックネットワークのための高精度な帯域予測に基づく経路制御法を提案する。

第2章 サービス品質向上のためのネットワークの経路制御

無線アドホックネットワーク、および有線ネットワークにおけるオーバーレイネットワークにおいて、マルチメディア通信に対するネットワークレベルのサービス品質を向上させるためには、以下で述べる技術課題(T1)、(T2)を解決する必要がある。

まず、無線アドホックネットワークにおいては、マルチメディア通信を行う上で、各通信セッションに対する経路を構築する際、セッションが必要とする通信帯域を充足できる分の帯域を各端末に割り当てることができるかどうかを判断する、アドミッション制御に基づく経路制御を行うことが有効である。特に、アドミッション制御を正確に行うためには、各端末における消費帯域について高精度に予測することが不可欠となる。

しかしながら、従来手法においては、データが1-hopで到達する範囲であるTR内に存在する端末が送受信するトラフィック量の情報を利用し自身の消費帯域を換算するが、実際には相互の通信の妨害範囲であるCSR内に存在している全ての端末が発生するトラフィック量を消費帯域として換算していない。このため、必要な帯域を充足できると判断し経路が構築されたとしても、実際にデータが配信されると、予測した以上に過剰なトラフィックが発生する場合があります。セッションが必要とする通信帯

域を充足できなくなるという問題がある。

以上のように、従来手法には、(T1) 無線アドホックネットワークにおいて帯域予測の精度が低いためセッションが所望する通信帯域の充足が困難であるという問題がある。

次に、有線ネットワークにおける経路制御の技術課題を明確にする。オーバーレイネットワークにおいては、利用者端末上でデータを複製しマルチキャストを実現する、エンドシステムマルチキャストが、複数端末へのデータの送信に有用であることが知られている。ここで、本研究で対象とするビデオ会議等のマルチメディア通信サービスにおいては、各利用者になるべく公平に、かつ高品質なサービスを提供することが望まれる。

ここで、従来手法は一对多通信を対象としており、複数の配信木を同時に作成することを想定していない。したがって、従来手法を本研究が対象としている多対多通信に適用した場合、複数のセッションにおける帯域消費を考慮せずに配信木を作成することになり、他と比べて帯域が大きいアクセスリンク（を持つ端末）が過度に圧迫され、その端末からデータを受信する各端末の受信ビットレートが他と比べて極端に低下してしまう。

以上のように、有線ネットワークにおいては、従来手法の問題点として、(T2) 多対多のエンドシステムマルチキャストの配信経路の制御における帯域予測が困難なことによる、通信品質の偏りが発生する（公平性のある多対多通信の実現が困難である）という技術課題がある。

第3章 無線アドホックネットワークのための高精度な帯域予測に基づく経路制御法

本研究の技術課題である(T1)を解決するため、本研究では、各端末の帯域の予約状況、すなわち自己発生トラヒック量の情報を従来手法に比べより広い範囲に伝播させることにより、消費帯域を高精度に予測し、帯域の正確な充足可否を判断可能とする経路制御法、ALRS を提案する。

本提案手法においては、各端末Xは、自己発生トラヒック量、および自身の1-hopの各隣接端末の自己発生トラヒック量のリストを保持するメッセージを流通させ、自身の2-hopまでの各隣接端末に関するトラヒック量の情報の保持・更新を行う。これにより、自身のCSR内に存在する各端末の自己発生トラヒック量の総計（すなわち、端末X自身の消費帯域である）を算出することが可能である。

以上のようにして消費帯域の算出を行うことで、各セッションの確立要求があった際に高精度なアドミッション制御を行うことが可能となる。

次に、本提案手法に対する性能評価のため、計算機によるネットワークシミュレーションを行った。図1は、本提案手法（ALRS）および従来手法（AODV）に対する、端末の移動がない場合のシミュレーションの解析結果であり、各セッションに対するパケット配信率を示している。本手法を用いた場合、従来手法を用いた場

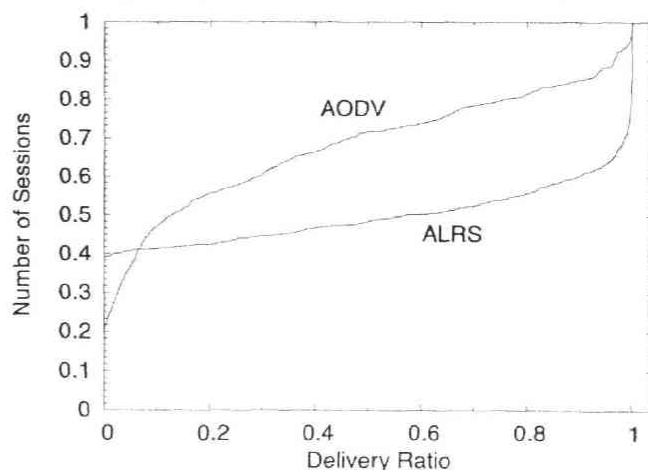


図1 パケット配信率に対するセッション数の相対累積度数分布

合に比べ、高いパケット配信率となるセッションの数が多く、配信率が低いセッションの数が少ないことが分かる。特に、確立したセッションに対して、セッションが必要とする通信帯域の充足が可能である経路を多く構成していることから、本手法が、発生しうるトラヒック量を抑制しつつも、セッションの確立を必要以上に抑制しないことが分かる。このことから、本手法が、高精度な帯域予測に

よるアドミッション制御を実現していることが確認できる。また、端末が移動する場合の実験を行った結果、本手法と従来手法との差はより広がった。このことから、本手法は、端末の移動がある場合においても従来手法に比べて性能が高いことが分かる。

以上の評価を通じ、本提案手法により、無線アドホックネットワークにおいて、セッションが必要とする通信帯域を充足させることが可能となることが確認された。

以上のことから、本提案手法は、無線ネットワークにおいて、マルチメディア通信に対するネットワークレベルのサービス品質を向上させることが可能であると結論づけられる。

第4章 部分木の帯域予測に基づくエンドシステムマルチキャストの配信経路の制御法

本研究の技術課題である(T2)を解決するため、本研究では、エンドシステムマルチキャストにおいて発生する利用者端末ごとの通信品質の偏りを段階的に改善する、反復型のエンドシステムマルチキャストのデータ配信木の構成手法を提案する。

具体的には、本手法では、作成済みの配信木から、全てのセッションの影響、すなわち各参加者の利用者端末を根とする複数の配信木に対するネットワーク帯域の割り当て状況を考慮して、再構成後の配信木の状態を局所的に試算する。そして、試算結果をもとに、利用者端末の受信レートを向上できると判断した場合、配信木を再構成する。以上のような配信木の再構成を各利用者端末が自律分散的に反復して行うことで、全端末中で下限となる受信レートの値が上昇し、利用者端末間の受信レートの偏りを段階的に軽減することが可能となる。

本提案手法の有効性を示すために、計算機上で8対8のマルチキャスト通信のシミュレーションを行い、既存手法との性能比較を行った。図2および図3は、全端末間でのアクセスリンクの帯域の比率のばらつきが小さいケースに対する実験結果であり、各unitにおける全ノードの受信ビットレートの平均値、25%値、最小値、および標準偏差を示している。本手法においてツリーの再構成を繰り返した結果、受信ビットレートの最小値については、最終的に既存手法の値より1.31倍向上している。また、標準偏差の値も既存手法の1/4に抑えられたことから、受信ビットレートのノード間の偏りは既存手法より小さいことが分かる。また、平均値については両手法とも同等であり、全ノードの受信

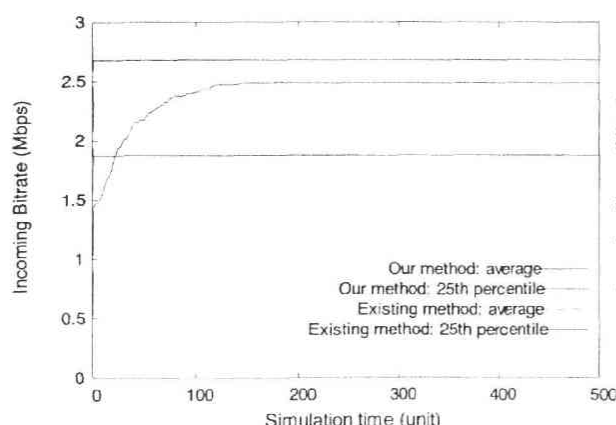


図2 受信ビットレートの変化（平均値，25%値）

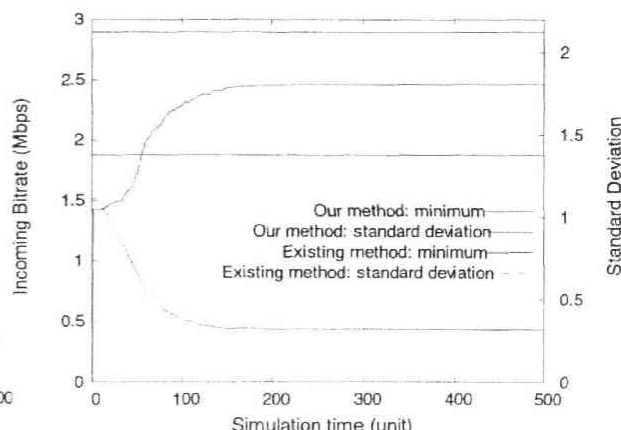


図3 受信ビットレートの変化（最小値，標準偏差）

ビットレートの総和に関して大きな差はない。

以上の結果から、本提案手法によって、既存手法に比べノード間の公平性を最大限に保ちつつ、全ノードが受信ビットレートを段階的に向上できることを確認した。さらに、全端末間でのアクセスリンクの帯域の比率を変えて実験を行った結果、各端末におけるアクセスリンク間の上り帯域の差が極端に大きくない環境では、本手法が非常に有効であることが確認された。

以上のことから、本提案手法は、利用者端末間でアクセスネットワークが不均一であるオーバーレイネットワークにおいて、双方向のマルチメディア通信を行うために重要な、公平性のある多対多通信を実現する経路制御法であり、これにより有線ネットワークにおいてネットワークレベルのサービス品質を向上させることが可能であるという結論を得た。

第5章 結論

本研究では、マルチメディア通信に対するネットワークレベルのサービス品質を向上させるために、無線および有線ネットワークのためのそれぞれの経路制御における帯域予測に関する技術課題を解決する2つの経路制御法を提案した。

第3章、第4章の成果により、本提案手法が、無線および有線ネットワークそれぞれにおいてマルチメディア通信に対するサービス品質を向上させることが可能であり、本研究は、ユビキタス情報環境において利用者同士のコミュニケーションを促進させることに寄与する重要な成果であるという結論が得られた。

論文審査結果の要旨

遍在する多様な情報通信基盤から成るユビキタス情報環境において、マルチメディア通信サービスの品質を向上させることは、利用者同士のコミュニケーションを促進するために非常に大切である。マルチメディア通信サービスの品質を向上させるためには、利用可能な帯域が変動する情報通信基盤において、正確な帯域予測に基づく適応型の経路制御技術が重要となる。しかし、有線ネットワーク上の利用者端末間で構成される仮想ネットワークすなわちオーバーレイネットワークや、無線アドホックネットワークにおいては、その構造の複雑さにより帯域の予測の精度が低いため、通信品質を向上させることが困難であった。著者は、マルチメディア通信サービスの品質を向上させるために重要である経路制御技術に着目し、オーバーレイネットワークおよび無線ネットワークのための高精度な帯域予測に基づく経路制御法に関する研究に取り組んできた。本論文は、その成果をまとめたもので、全編5章からなる。

第1章は序論である。

第2章では、通信品質を向上させるための、オーバーレイネットワークおよび無線アドホックネットワークにおけるそれぞれの経路制御に関する技術課題を明確にした。

第3章では、無線アドホックネットワークにおいて、帯域の予約状況を従来手法に比べより広い範囲に伝播させることにより、消費帯域を高精度に予測し、帯域の正確な充足可否を判断可能な経路制御法を提案している。計算機シミュレーションを通して、従来手法に比べて、より多くのサービスに対して必要な帯域を確保できることを示した。これは、無線ネットワークにおいてマルチメディア通信を活用するために効果的な経路制御技術に関する興味深い成果である。

第4章では、オーバーレイネットワーク上で公平性のある多対多通信を実現するために、中継端末を共有する全てのデータ配信木の消費帯域を追跡することで、各配信木への正確な帯域の分配によって受信帯域の偏りを抑え、公平性を向上する経路制御法を提案している。計算機シミュレーションの成果、従来手法に比べ偏りを25%に軽減し、公平性を向上することを確認した。これは、有線ネットワークにおける利用者同士のコミュニケーションの促進に寄与する重要な成果である。

第5章は結論である。

以上要するに本論文は、ユビキタス情報環境においてサービス品質を向上させるための適応型経路制御法の基礎を与えたものであり、情報基礎科学の発展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は、博士（情報科学）の学位論文として合格と認める。